نشریه دانش آب و خاک / جلد23 شماره4 صفحه‌های 159 تا 176/ سال 1392

اثر باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد گیاه بر بهبود شرایط تغذیه‌ای کلزا (Brassica napus L.) تحت تنش شوری

داود سقفی [1*]، حسینعلی علیخانی[2] و بابک متشرع زاده[3]

تاریخ دریافت: 90/11/24 تاریخ پذیرش: 91/12/16

[1، 2 و 3]- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه مهندسی علوم خاک ، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران. ایران

[*]مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: d.saghafi66@gmail.com

چکیده

به منظور بررسی تاثیر مایه‌زنی باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد گیاه بر جذب عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، منگنز و مس) در کلزا تحت تنش شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار، با دو فاکتور: 1- شوری در چهار سطح S_0، S_1، S_2 و S_3 (به ترتیب 0، 3، 6 و 9 دسی‌زیمنس برمتر) و 2-جدایه‌های ریزوبیومی (در هفت سطح T_1: بدون باکتری (شاهد)، T_2: باکتری متحمل به شوری و حل‌کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، T_3: باکتری متحمل به شوری، مولد ACC-دآمیناز و حل‌کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، T_4: باکتری متحمل به شوری، مولد ACC-دآمیناز زیاد و IAA، T_5: باکتری متحمل به شوری، مولد ACC-دآمیناز، IAA و حل‌کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، T_6: باکتری متحمل به شوری، T_7: باکتری حساس به شوری)، اجرا شد. در مجموع، با افزایش سطوح شوری غلظت عناصر غذایی کاهش یافت. بر اساس نتایج حاصله، مایه‌زنی باکتری تاثیر معنی‌داری بر جذب عناصر غذایی نشان داد ($P<0/01$). تحت تنش شوری، بیشترین غلظت نیتروژن (22 تا 33 درصد افزایش نسبت به شاهد) و روی (20 تا 47 درصد) از تیمار T_4 بدست آمد. به علاوه، بالاترین غلظت فسفر با افزایش 11 تا 37 درصدی نسبت به شاهد در تیمار T_3 مشاهده شد. همچنین مایه‌زنی با تیمار T_5 به ترتیب سبب افزایش 83 و 25 درصدی در غلظت آهن و مس نسبت به شاهد در سطح شوری S_3 گردید. در مجموع می‌توان بیان کرد استفاده از زادمایه باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد به عنوان یک کود زیستی جهت نیل به کشاورزی پایدار حائز اهمیت بوده و می‌تواند به عنوان روشی ساده و اقتصادی در بهبود تغذیه کلزا تحت تنش شوری مطرح باشد.

واژ های کلیدی: باکتری‌های ریزوبیومی، زادمایه، شوری، عناصر غذایی، کلزا

Effect of Plant Growth Promoting Rhizobia on Improving the Nutritional Status of Canola (Brassica napus L.) Under Salinity Stress

D Saghafi[1*], HA Alikhani[2] and B Motesharezadeh[3]

Received: 13 February 2012 Accepted: 6 March 2013
[1, 2&3-] Respectively, M.Sc. Student, Assoc. Prof. & Assist. Prof., Dept. of Soil Sci. Engin., Campus of Agric. and Natural Resources, Karaj, Tehran Univ. Iran
[*]Corresponding Author Email: d.saghafi66@gmail.com

Abstract

In order to evaluate the effect of Rhizobia inoculation on nitrogen, phosphorus, potassium, iron, zinc, manganese and copper uptake in canola under salt stress, an experiment as factorial randomized complete block design with three replications, with two factors: 1- salinity in four levels of S_0, S_1, S_2 & S_3 (0, 3, 6 &9 dS/m respectively) and 2- rhizobia isolates (in seven levels T_1: control, T_2: salt tolerance & dissolved insoluble inorganic phosphates, T_3: salt tolerance, dissolved insoluble inorganic phosphates & produced ACC-deaminase, T_4: salt tolerance, able to produce IAA & high ACC-deaminase, T_5: salt tolerance, able to produce IAA, ACC-deaminase & dissolved insoluble inorganic phosphates, T_6: only salt tolerance, T_7: only salt sensitive) was conducted. In general, concentrations of nutrients were decreased with the increase in salinity. Results showed that inoculation had a significant effect on nutrient uptake ($P<0.01$). Under the salinity stress, the highest concentrations of nitrogen (22-33% higher than control) & zinc (20-47%) were obtained in the treatment T_4. Furthermore, the highest phosphorus concentration with 11 to 37 percent higher than control was observed in the treatment T_3. Also, the inoculation with the treatment T_5 in S_3 salinity levels, resulted in 83 & 25 percent increase in iron and copper concentrations as compared to the control, respectively. Finally, it could be stated that using of growth promoting rhizobia inoculants as a biological fertilizer was important to achieve sustainable agriculture and could be considered as a simple and economical way to improve nutrition of canola under salinity stress.

Keywords: Canola, Inoculant, Nutrients, Rhizobia, Salinity

مقدمه

امروزه در جهان برای دستیابی به حداکثر عملکرد، توجه گسترده‌ای به مدیریت خاک‌های شور جلب شده است. بیش از 1000 میلیون هکتار اراضی دنیا با مشکل شوری مواجه هستند که 7 درصد از کل اراضی دنیا را شامل می‌شوند. همچنین از 1/5 میلیارد هکتار اراضی کشاورزی دنیا، حدود 77 میلیون هکتار (5 درصد از این مناطق) شدیدا تحت تاثیر شوری قرار دارند (گیری و همکاران 2007). گیاهان رشد یافته در این مناطق به طور جدی تحت تاثیر تنش شوری قرار

داشته و به دلیل اثرات منفی این تنش هرگز به حداکثر رشد و تولید خود نمی‌رسند. خصوصیات شیمیایی خاک‌های متاثر از نمک‌های محلول نشان می‌دهد که اثر این املاح بر رشد گیاه به واسطه‌ی فعالیت پایین عناصر غذایی ضروری، نسبت بالای Na/K، Cl/NO_3، ناهنجاری تغذیه‌ای و در نهایت کاهش رشد و کیفیت عملکرد محصولات می‌باشد (میرمحمدی میبدی و قره یازی 2002). همچنین تحت تنش شوری وجود مقدار زیاد Na در خاک منجر به اختلال در جذب، انتقال و توزیع عناصر غذایی ضروری در بخش‌های مختلف گیاه می‌شود (کافی و دامغانی 2000).

روش‌های مختلفی برای کاهش اثرات منفی شوری خاک وجود دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از کودهای زیستی است. ریزوبیوم‌ها از مفیدترین باکتری‌های خاکزی هستند که به دلیل توان تثبیت نیتروژن، توان تولید عوامل محرک رشد گیاه و همچنین به علت وجود فناوری تولید انبوه زادمایه آنها به عنوان یک کود زیستی در سطح جهانی شناخته شده‌اند (فونتز رامیرز و کابالرو ملادو 2005). مطالعات نشان می‌دهد که محدوده کاربرد این باکتری‌ها فراتر از گیاهان لگوم بوده و می‌توانند اثرات مثبت و اقتصادی برای محصولات غیرلگوم از جمله برنج (حسین و همکاران 2009)، ذرت (ماتیرو و داکورا 2004)، گندم و کلزا (شخاوت و مارتنسون 2007) داشته باشند. که این اثر مثبت در افزایش رشد گیاهان غیر لگوم به مکانیسم‌هایی غیر از تشکیل گره ریشه‌ای و تثبیت زیستی نیتروژن مربوط می‌شود (حسین و همکاران 2009) و می‌تواند تأکیدی بر کارائی برخی از سویه‌های ریزوبیومی به عنوان باکتری‌های ریشه‌ای محرک رشد و امکان استفاده از آنها در کشت گیاهان زراعی غیرلگوم باشد (محبوب و همکاران 2009).

از اثرات دیگر شوری بر رشد، تجمع اتیلن در ریشه گیاهان است که سبب کاهش رشد ریشه و در نهایت کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز در ریزوسفر با کاهش غلظت اتیلن گیاهان، رشد آنها را افزایش دهند (پنروز و گلیک 2003). مایاک و همکاران (2004) گزارش کردند که مایه‌زنی با باکتری *Achromobacter piechaudii* از طریق کاهش غلظت اتیلن تنشی سبب افزایش رشد دانهال‌ها، جذب فسفر و پتاسیم در اندام هوایی گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری شد. خسروی و همکاران (1387) در تحقیقی تاثیر باکتری‌های ریزوبیومی مولد ACC- دآمیناز را بر رشد گیاه گندم تحت تنش شوری و خشکی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مایه‌زنی با این باکتری‌ها منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، طول ریشه، جذب عناصر غذایی (آهن، منگنز و مس) نسبت به شاهد شد. نتایج تحقیقات سایر محققین نیز نشان داده است که در اثر مایه‌زنی با باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز تحت تنش شوری، رشد گیاه کلزا (چنگ و همکاران 2007) و ذرت (نادیم و همکاران 2006a) افزایش می‌یابد. هامدیا و همکاران (2004) مشاهده کردند که در اثر مایه‌زنی گیاه ذرت با باکتری *Azospirillum brasilense* تحت تنش شوری، جذب سدیم کاهش و جذب پتاسیم و کلسیم اندام هوایی افزایش یافت. گزارش شده است که باکتری‌های محرک رشد گیاه با تنظیم جذب عناصر غذایی (افزایش نسبت K/Na) و نگهداری تعادل بین این عناصر اثر مفیدی بر رشد گیاهان تحت تنش شوری دارند (نادیم و همکاران 2006b). بعلاوه در محیط شور، عدم تعادل هورمونی رخ داده و استفاده از زادمایه باکتری‌های محرک رشد مولد هورمون‌های گیاهی (نظیر اکسین) می‌تواند با تغییر در شکل ریشه و در نتیجه بهبود جذب آب و عناصر غذایی، رشد و عملکرد گیاهان را افزایش دهد (شاهارونا و همکاران 2007).

در اکثر مناطق ایران به دلیل کمبود بارندگی و استفاده بیش از حد از منابع آب‌های در دسترس (نظیر آب‌های زیر زمینی)، اغلب خاک‌ها شور هستند. بعلاوه، این شوری اکثرا به دلیل آبیاری غیراصولی است که

باعث می‌شود نمک‌ها در سطح خاک تجمع یافته و برای گیاهان سمیت ایجاد کند و از طرف دیگر با کاهش جذب عناصر غذایی، رشد و عملکرد گیاهان را کاهش می‌دهند. بنابراین بکارگیری روش‌های مناسب کشت، برای نیل به کشاورزی پایدار با وجود آب‌های نامطلوب (شور) ضروری به نظر می‌رسد (ال-کاراکی 2006). یکی از این روش‌ها بهبود رشد گیاهان تحت تنش در اثر استفاده از زادمایه میکروبی بومی می‌باشد که می‌تواند برای محصولات منطقه مورد نظر، کارایی بیشتری داشته باشد. پژوهش حاضر نیز با هدف بررسی اثرات باکتری‌های ریزوبیومی محرک رشد بومی خاک‌های ایران بر تعدیل تنش شوری و بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه کلزا اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال 90-1389 در گلخانه گروه مهندسی علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید که تیمارها شامل: 1- شوری در چهار سطح S_0، S_1، S_2 و S_3 (به ترتیب 0، 3، 6 و 9 دسی‌زیمنس‌برمتر) و 2- جدایه‌های ریزوبیومی (در هفت سطح: T_1: بدون باکتری، T_2: جدایه 29، T_3: جدایه 103، T_4: جدایه 307، T_5: جدایه 281، T_6: جدایه 258، T_7: جدایه 266)، بودند. جدایه‌های ریزوبیومی از بانک ژن گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران تهیه گردید و برخی صفات محرک رشدی آنها جهت کشت گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. میزان تحمل به شوری جدایه‌ها در محیط YEMA[1] با ترکیبی از املاح NaCl و $MgCl_2$ در غلظت-های 81، 163، 245 و 325 میلی مولار (با نسبت مولی 1 به 2) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون کمی توان تولید IAA در محیط DF[2] (پتن و گلیک 2002)، آزمون کیفی توان تولید آنزیم ACC-دآمیناز در محیط RMM[3] بررسی گردید و جدایه‌هایی که اندازه کلنی آنها بر روی محیط RMM + ACC بزرگتر از محیط شاهد مثبت (RMM + NH4Cl) بود، به عنوان جدایه‌های توانمند (+) ارزیابی شدند (پنروز و گلیک 2001). همچنین، آزمون کمی انحلال فسفات‌های نامحلول معدنی نیز در محیط کشت مایع اسپربر به روش زرد (جئون و همکاران 2003) انجام شد. برای تهیه زادمایه جدایه‌های منتخب، باکتری‌ها بر روی محیط YEMB[4] کشت و به مدت 48 ساعت در دمای 28 درجه سلسیوس بر روی شیکر دورانی با شدت 120 دور در دقیقه قرار داده شدند. سپس یکسان‌سازی جمعیت باکتری‌ها به روش مک فارلند به نحوی صورت گرفت که سوسپانسیون-های باکتریایی دارای جمعیت تقریبی 4×10^9 cfu ml^{-1} بودند.

برای کشت گلخانه‌ای از منطقه اطراف کرج نمونه خاک مرکب از عمق 30-0 سانتی‌متر تهیه گردید و از الک 4 میلی‌متری عبور داده شد و همچنین نمونه‌ای از خاک بعد از عبور دادن از الک 2 میلی‌متری، برای اندازه گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی (بافت به روش هیدرومتر، ظرفیت مزرعه توسط دستگاه صفحات فشاری، ماده آلی به روش والکلی بلک، کربنات کلسیم به روش کلسیمتری، نیتروژن به روش کجلدال، فسفر به روش اولسن و پتاسیم به روش استات آمونیوم) بر اساس روش‌های متداول (علی احیایی و بهبهانی زاده 1372) مورد تجزیه قرار گرفت و نیاز غذایی گیاه با توجه به نتایج آزمون خاک و بر اساس توصیه کودی تامین گردید (خادمی و همکاران 1379). در مرحله بعد مقدار 5 کیلوگرم خاک الک شده به ازای هر گلدان توزین و درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد. در این آزمایش از گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) رقم RGS003 تهیه شده از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج

[1] Yeast Extract Mannitol Agar
[2] DF Salt Minimal Medium
[3] Rhizobia Minimal Medium
[4] Yeast extract Mannitol Broth

استفاده گردید. بذور کلزا به مدت 30 ثانیه در الکل 96 درصد و بعد به مدت 2- 1/5 دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم (0/5درصد) ضدعفونی سطحی و 8-7 مرتبه با آب مقطر استریل شستشو گردیدند. سپس بذور برای جوانه دار شدن درون ظروف پتری استریل حاوی آب آگار (10 گرم آگار در یک لیتر آب مقطر) به فواصل منظم از هم قرار گرفته و درون انکوباتور با دمای 28- 26 درجه سلسیوس گذاشته شدند. پس از 24 ساعت هنگامی که ریشه‌چه‌ها ظاهر شدند بذور جوانه دار شده برای کشت در گلدان‌ها آماده بودند. پنج بذر در هر گلدان کشت شد و مقدار یک میلی‌لیتر از سوسپانسیون کشت تازه هر جدایه پای هر بذر جوانه-دار شده مایه‌زنی گردید و برای تیمار شاهد منفی (T_1) از YEMB بدون باکتری اضافه گردید. پس از ظهور گیاهچه‌ها، تعداد آن‌ها به 2 عدد در هر گلدان کاهش داده شد.

اعمال تنش شوری در تمام سطوح (تیمارها) دو هفته بعد از سبز شدن بذرها با استفاده از محلول مخلوط املاح NaCl و $MgCl_2$ با شوری‌های 3، 6 و 9 دسی‌زیمنس برمتر (نسبت مولی1به2) انجام شد. قبل از آبیاری گلدان‌ها با آب شور، سه گلدان شاهد برای هرسطح شوری در نظر گرفته شد و با اضافه کردن آب شور به تدریج قابلیت هدایت الکتریکی گلدان‌ها اندازه گیری گردید و مشخص شد که اگر گلدان‌های هر سطح شوری با محلول‌های فوق به تدریج در 8 مرحله آبیاری (هر بار 200 میلی لیتر) شوند، شوری‌های مورد نظر تامین می‌شود. همچنین آبیاری گلدان‌های تحت تنش به روش وزنی و در در دامنه رطوبتی 80- 70 درصد ظرفیت مزرعه صورت گرفت تا هیچ گونه تنش رطوبتی به گیاه وارد نشود. دمای گلخانه در طول دوره رشد در محدوده 32- 24 درجه سلسیوس و نور گلخانه توسط ترکیبی از لامپ‌های هالوژن زرد و سفید به طور یک در میان به میزان متوسط 14000 لوکس و با طول دوره روشنایی 14 ساعت در روز تنظیم گردید.

پس از رشد کافی گیاهان کلزا طی یک دوره 4/5 ماهه، عمل برداشت انجام و بوته های کلزا از بخش هوایی قطع و پس از توزین و به منظور اندازه گیری وزن خشک اندام هوایی در آون با دمای70 درجه سلسیوس به مدت 72 ساعت قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از آسیاب برقی پودر شدند. برای تهیه عصاره گیاه جهت اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی (Cu, Mn, Zn, Fe, P, K, Na) در بافت گیاهی، از روش سوزاندن خشک و حل کردن خاکستر بدست آمده در 20 میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک نرمال استفاده شد (امامی 1375). بعد از آماده شدن عصاره گیاهی، غلظت سدیم و پتاسیم توسط دستگاه فلیم فتومتر (ELE) و غلظت آهن، روی، منگنز و مس با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA6600) اندازه گیری شد. غلظت فسفر نیز به روش رنگ سنجی در طول موج 430 نانومتر از طریق اسپکتروفتومتر (Shimadzu UV3100) تعیین شد و نیتروژن کل با روش هضم توسط دستگاه کجلدال اندازه گیری گردید (امامی 1375).

داده‌ها با نرم افزار SAS تجزیه شد و مقایسه میانگین ها نیز با روش آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال 5 درصد توسط نرم افزار MSTAT-C محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد جدایه‌های ریزوبیومی مورد استفاده توانایی تولید صفات محرک رشدی از قبیل تولید ایندول استیک اسید، آنزیم ACC-دآمیناز و انحلال فسفات‌های نامحلول معدنی را دارند و بین جدایه‌ها فقط سویه 281 در تمامی صفات مثبت ارزیابی گردید. در ضمن سویه‌های 258 و 266 توانایی تولید صفات محرک رشدی را از خود نشان ندادند. همچنین در آزمون مقاومت به شوری، به جز سویه 266، بقیه سویه‌ها متحمل به سطوح شوری 20، 30 و 40 دسی زیمنس بر متر ارزیابی شدند (جدول 1). تجزیه

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نشان داد بافت خاک مورد استفاده لوم می‌باشد که مناسبترین بافت برای رشد کلزا می‌باشد و همچنین مشخص شد که خاک غیر شور بوده و از نظر مواد آلی و عناصر غذایی دچار کمبود می‌باشد. اطلاعات بیشتر در جدول 2 آمده است. طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر باکتری و شوری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و غلظت تمام عناصر اندازه گیری شده در سطح یک درصد و اثر باکتری بر غلظت منگنز در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل باکتری در شوری بر غلظت پتاسیم و منگنز غیر معنی‌دار، برای نیتروژن و وزن تر اندام هوایی در سطح پنج درصد، برای وزن خشک اندام هوایی، سدیم، فسفر، آهن، روی و مس در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول3). در ادامه نتایج حاصله از صفات مورد بررسی ارائه می‌گردد.

جدول 1- خصوصیات محرک رشدی جدایه‌های مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای.

شماره جدایه	تحمل به شوری*	توان تولید ایندول استیک اسید ($mg.\ L^{-1}$)	توان تولید ACC- دآمیناز	فسفر حل شده ($mg.\ L^{-1}$)
281	متحمل	10/07	+	128
307	متحمل	10/07	+	-
103	متحمل	-	+	98
29	متحمل	-	-	155
258	متحمل	-	-	-
266	حساس	-	-	-

*حساس: عدم رشد در شوری 10 دسی زیمنس به بالا، متحمل: توان رشد در شوری 40 دسی زیمنس بر متر. +: تولید ACC-دآمیناز، -: عدم تولید ACC-دآمیناز.

جدول 2- نتایج آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای.

خصوصیت خاک	مقدار	خصوصیت خاک	مقدار
شن (%)	39	نیتروژن کل (%)	0/053
سیلت (%)	36	فسفر قابل جذب (mg/kg)	5/6
رس (%)	25	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	230
کلاس بافت	لوم	سدیم محلول (meq/l)	2
درصد ظرفیت مزرعه (FC)	16	آهن قابل استخراج با DTPA (mg/kg)	1/67
pH (عصاره اشباع)	8/10	روی قابل استخراج با DTPA (mg/kg)	1/38
EC عصاره اشباع (dS/m)	1/28	منگنز قابل استخراج با DTPA (mg/kg)	3/57
کربن آلی (%)	0/043	مس قابل استخراج با DTPA (mg/kg)	1/61
کربنات کلسیم معادل (%)	8/20	جمعیت کل میکروبی (cfu/g.soil)	$2/5\times10^{5}$

وزن تر و خشک اندام هوایی

مقایسه میانگین این صفات نیز نشان داد که وزن تر و خشک اندام هوایی، به ترتیب به میزان 9/33، 10/25 درصد در تیمار S_1 و به میزان 16/6، 18/76 درصد در تیمار S_2 و به میزان 25/7، 31/78 درصد در تیمار S_3 نسبت به شرایط بدون تنش (S_0) کاهش یافتند (شکل1). کاهش محصول ناشی از سمیت سدیم کلرید به علت کاهش شدید فعالیت‌های زیستی و زیست شیمیایی در گیاه است که از آن جمله میتوان به تاثیر سوء کلر در سنتز آنیون‌های آلی، کاهش جذب نیترات و نیتروژن کل در گیاه، مختل شدن متابولیسم نیتروژن در گیاه و در نتیجه اختلال در سنتز پروتئین و اسید نوکلئیک اشاره داشت (ابطحی 1380). به هر حال شاید کاهش در تجمع ماده خشک اندام هوایی، به دلیل کاهش

طول ریشه و اندام هوایی و تجزیه پروتئین‌ها در مرحله رشد گیاهچه باشد (حاج غنی و همکاران 1387). مایه-زنی با تیمارهای باکتری اثر معنی‌داری بر میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی داشت. نتایج نشان داد که بیشترین میانگین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب در سطوح شوری S_0 و S_1 (به ترتیب با افزایش 24 و 31 درصدی نسبت به شاهد) از تیمار T_5 بدست آمد. همچنین در سطوح شوری S_2 و S_3 نیز بالاترین میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی در تیمار T_5 مشاهده گردید (شکل1). تحقیقات سایر محققین نیز نشان داده که کاربرد باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه اثرات مثبتی بر وزن ریشه و اندام هوایی، رشد گیاهان و عملکرد دانه دارد (کاکماکی و همکاران 2007، بیاری و همکاران 2008). اثرات مثبت این باکتری‌ها بر رشد گیاه، تغییرات در مورفولوژی ریشه (عمدتا افزایش ریشه‌های جانبی و تعداد تارهای کشنده و طول ریشه) است (کاکماکی و همکاران 2007). شاهارونا و همکاران (2007) گزارش کردند باکتری‌های مولد ACC- دآمیناز از طریق توسعه و گسترش هر چه بهتر ریشه، رشد ساقه و عملکرد را به طور مثبت تحت تاثیر قرار می‌دهند. با توجه به اینکه جیبرلین‌ها سبب افزایش رشد طولی سلول‌ها بویژه میان‌گره‌های ساقه و اکسین‌ها موجب تقسیمات سلولی بیشتر می‌شوند به این ترتیب احتمالا با افزایش ارتفاع بوته و قطر ساقه می-توانند در تولید زیست توده گیاهی موثرتر باشند (جوینی و همکاران 1390). مایاک و همکاران (2004) پتانسیل باکتری‌های ریزوسفری را برای افزایش تحمل گیاه گوجه فرنگی تحت تنش شوری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد باکتری‌ها با کاهش غلظت اتیلن در ریشه‌ها، وزن تر و خشک دانهال را به طور معنی داری افزایش دادند. این محققین بیان کردند افزایش زیست توده گیاهان تحت تنش به دلیل توسعه و طویل شدن سیستم ریشه‌ای می‌باشد که منجر به بهبود جذب عناصر غذایی و آب می‌گردد. احتمالا باکتری‌های محرک رشد با تغییر در ساختار سیستم ریشه‌ای سبب بهبود جذب عناصر غذایی، تخصیص کربوهیدرات‌ها به ریشه، کاهش فعالیت پراکسیداز ریشه و سنتز پروتئین-های جدید شده ودر نتیجه افزایش در رشد ریشه را منجر می‌شوند (زو و وو 2011).

غلظت نیتروژن در اندام هوایی

میانگین غلظت نیتروژن اندام هوایی با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت. شکل 2(A) نشان می دهد که تحت تنش شوری، استفاده از باکتری‌های محرک رشد بطور معنی‌داری غلظت نیتروژن را افزایش داده است و بیشترین مقدار آن در سطوح شوری S_0، S_1 وS_2 (به ترتیب با افزایش 33، 32 و 33 درصدی نسبت به شاهد) از تیمار T_4 بدست آمد، البته تیمارهای T_3و T_5 در رتبه بعدی قرار گرفتند. حتی در شوری S_3 نیز شاهد افزایش معنی دار (22 درصدی) غلظت نیتروژن در تیمار T_5 بودیم. همچنین در سطوح شوری S_1 و S_2 تیمارهای باکتریایی T_7، T_2 و T_6 (با افزایش معنی‌دار در غلظت نیتروژن نسبت به شاهد) در یک گروه آماری واقع شدند، ولی در سطوح S_0و S_3 بین تیمارهای مذکور با شاهد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در شرایط شور یون کلر مانع از جذب نیترات می-شود. برخی از پژوهشگران رقابت بین یون‌های کلر و نیترات را برای جذب در گیاه بررسی کردند. رقابت بین این دو یون به پتانسیل منفی سلول‌های ریشه و بار منفی این یون‌ها (کلر و نیترات) و جذب آنها از طریق سیستم‌های ناقل یکسان نسبت داده شده است (حسینی و همکاران 1387). کارلیداق و همکاران (2011) گزارش کردند استفاده از PGPR تحت تنش شوری غلظت نیتروژن را در اندام هوایی گیاه توت فرنگی افزایش می دهد، آنها بیان نمودند که PGPR از طریق محدود کردن جذب کلر منجر به افزایش جذب نیترات در گیاه می-شوند. در تحقیق دیگری، کاکماکی و همکاران (2007) اثر PGPR را بر رشد گیاهچه‌های گندم و اسفناج

بررسی کردند، این محققین افزایش فعالیت نیترات ردوکتاز توسط جدایه‌های PGPR را عامل افزایش جذب نیتروژن در گیاه مطرح کردند. همچنین اردکانی و همکاران (2011) نیز علت اصلی افزایش غلظت نیتروژن در گیاه گندم را توسعه سیستم ریشه‌ای (افزایش انشعابات ریشه‌ای و طول ریشه) توسط جدایه‌های PGPR بیان نمودند. گزارش شده است که افزایش تعداد تارهای کشنده در اثر تیمار با باکتریهای محرک رشد، سطح ریشه‌ای را 8-15 برابر افزایش می‌دهد و از این طریق با اشغال حجم کافی از منطقه اطراف ریشه، در عرضه عناصر متحرک مثل نیترات برای گیاه نقش دارد (باست میا و همکاران 2010). نتایج این پژوهش نیز با یافته‌های سایر محققین همخوانی دارد. بطور کلی در این پژوهش بیشترین غلظت نیتروژن در تیمار T_4 مشاهده شد که احتمالا مربوط به اثرات سینرژیستی IAA و ACC-دآمیناز بر توسعه و طول ریشه و درنهایت جذب نیتروژن بیشتر از خاک توسط ریشه و انتقال آن به بخش هوایی گیاه می‌باشد. در مورد تیمار T_5 می‌توان اینگونه بیان داشت که در این تیمار مقدار ماده خشک بیشتر بوده، لذا کاهش غلظت نیتروژن در آن نسبت به T_4 می‌تواند به دلیل اثر رقت باشد.

جدول 3- تجزیه واریانس تاثیر باکتری و شوری بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی در اندام هوایی کلزا.

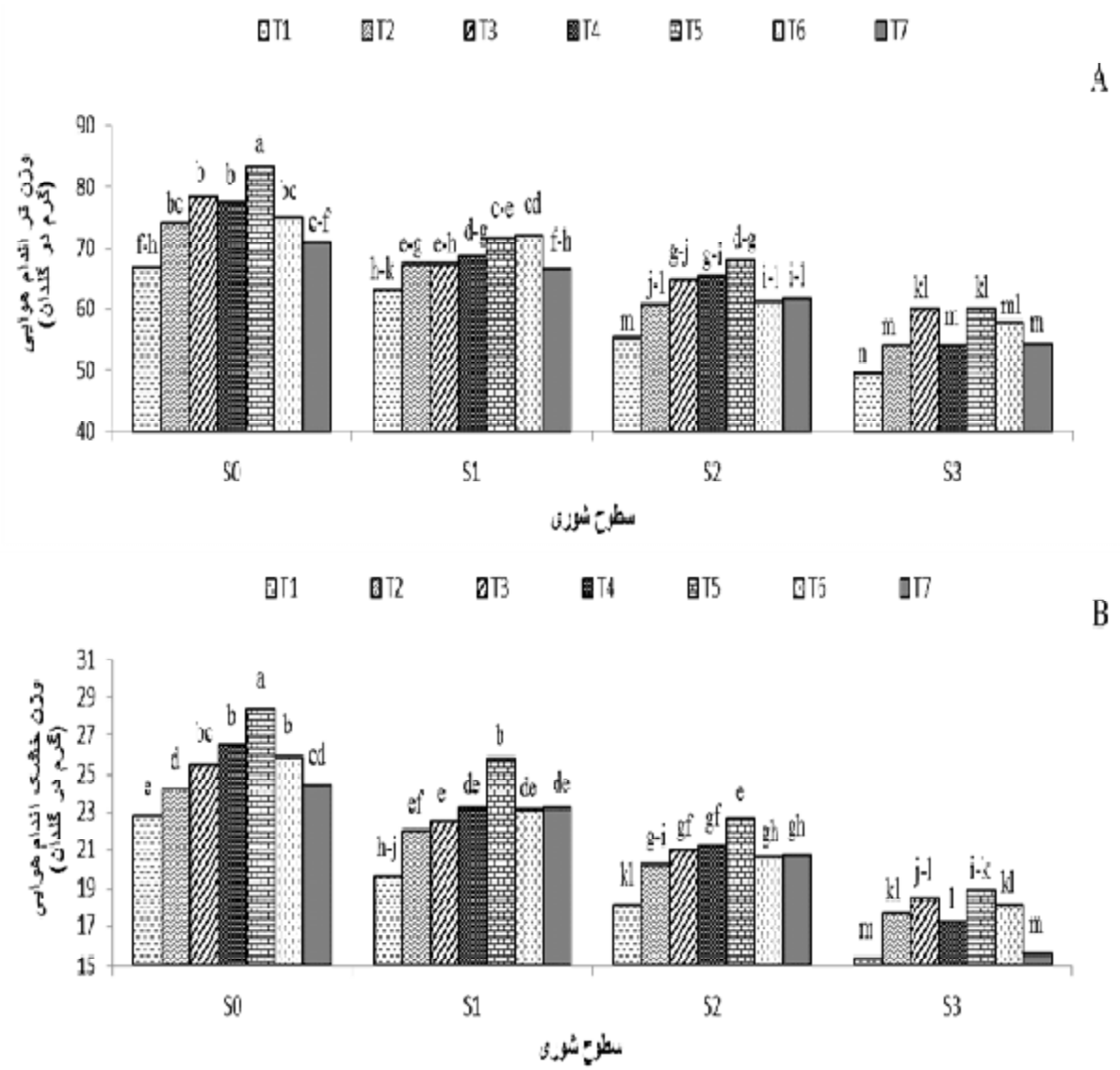
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		نیتروژن	فسفر	پتاسیم	سدیم	آهن	روی	منگنز	مس	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام
باکتری	6	0/28**	0/002**	0/16**	0/135**	22493**	391**	1341*	6/5**	171/84**	99/26**
شوری	3	1/7**	0/01**	0/73**	19/32**	203319**	3678**	21491**	173**	1426/86**	244/49**
باکتری*شوری	18	0/015*	0/0003**	$0/008^{ns}$	0/046**	8574**	50**	187^{ns}	2/72**	11/47*	1/4**
خطا	56	0/008	0/0001	0/038	0/012	146	10	492	1/18	2/84	0/56
ضریب تغییرات	-	5/68	5/9	8/8	9	7	4/55	14/57	5/18	3/69	3/5

**، *، ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار.

غلظت فسفر در اندام هوایی

میانگین غلظت فسفر اندام هوایی با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تاثیر تیمارهای باکتریایی T_3، T_4، T_5 و T_6 بر غلظت فسفر نسبت به شاهد معنی‌دار می باشد و بیشترین غلظت آن در سطح شوری S_0 (با افزایش 37 درصدی نسبت به شاهد) از تیمارT_3 بدست آمد. همچنین در سطوح شوری S_1، S_2 و S_3 نیز بالاترین غلظت فسفر در تیمار T_3 مشاهده شد و تیمار T_4 در مقام بعدی قرار گرفت. با اینکه در سطوح شوری S_0، S_1 و S_2 غلظت فسفر تیمار T_2 افزایش نشان داد ولی این افزایش در غلظت فسفر نسبت به شاهد معنی‌دار نگردید. همچنین در سطح شوری S_3 نیز فقط تیمارهای T_3 (افزایش 11 درصدی) وT_4 تفاوت معنی‌داری را با شاهد نشان دادند (شکل 2B). گزارش‌ها حاکی از این است که در شرایط شور یون‌های کلر از جذب نیتروژن و فسفر جلوگیری می‌کند (حیدری و همکاران 1386). نتایج نشان داد مایه زنی با باکتری‌های مولد ACC-دآمیناز

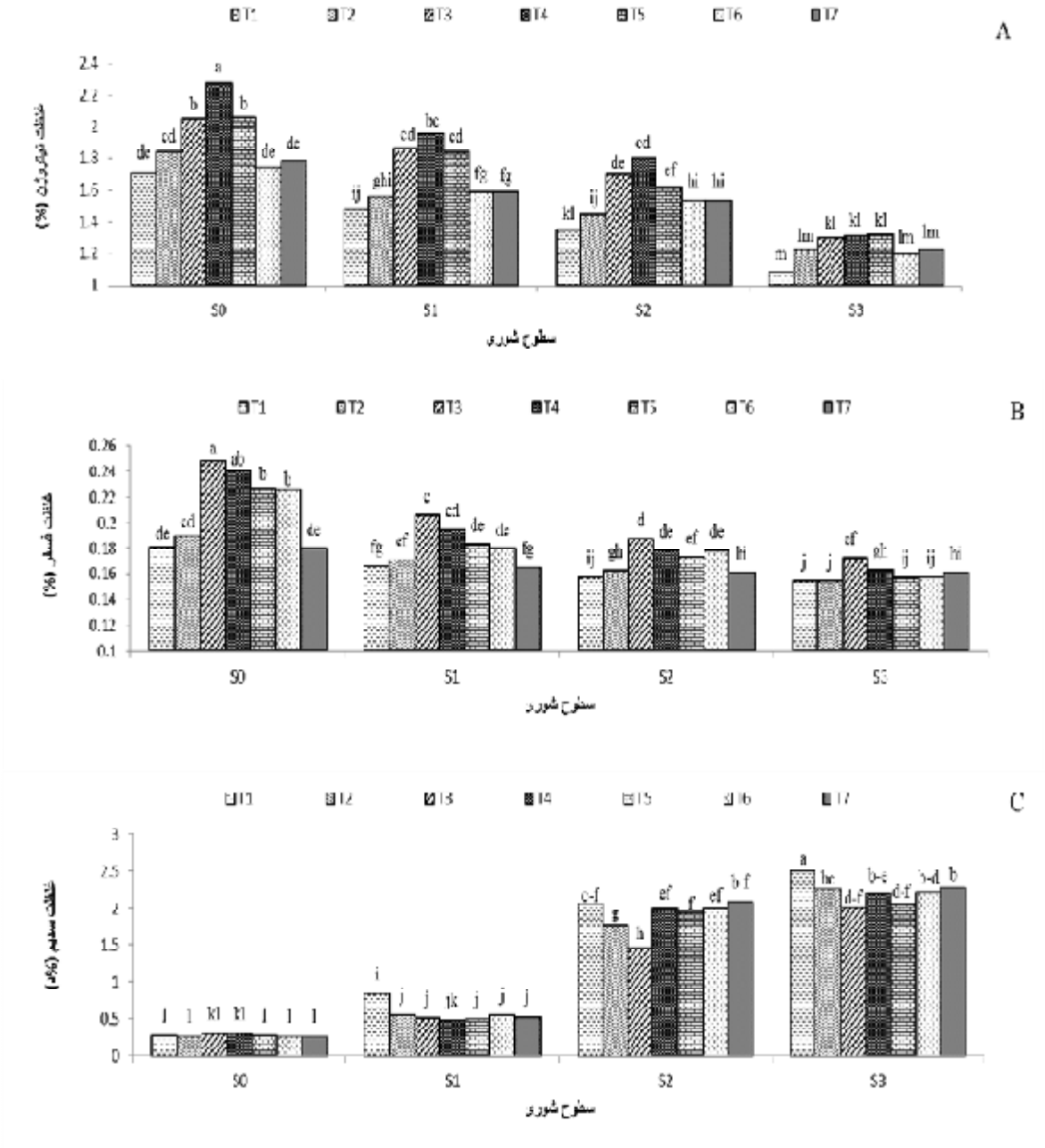
منجر به افزایش غلظت فسفر شدند و بیشترین غلظت در تیمار T_3 (مولد ACC-دآمیناز و حل کننده فسفات) مشاهده گردید. مایاک و همکاران (2004) نیز گزارش کردند باکتری‌های مولد ACC-دآمیناز انحلال پذیری و یا جذب فسفر را افزایش می‌دهند. با این حال، مکانیسم افزایش جذب فسفر توسط این باکتری‌ها معلوم نیست. در مورد تیمار T_4 (مولد IAA و ACC-دآمیناز) می‌توان گفت با اینکه باکتری‌های مولد IAA از طریق افزایش تعداد تارهای کشنده ریشه، سطح سیستم ریشه‌ای را افزایش می‌دهند و از این طریق باعث اشغال حجم کافی از خاک منطقه اطراف ریشه می‌شوند، اما فقط مقدار کمی از این حجم اشغال شده در عرضه عناصر غیر متحرک مانند پتاسیم و فسفر نقش دارد (باست میا و همکاران 2010). در مورد تیمار T_5 (مولد IAA، ACC-دآمیناز و حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی) می‌توان اینگونه بیان داشت که در این تیمار مقدار ماده خشک بیشتر بوده، لذا به دلیل اثر رقت، غلظت فسفر در آن نسبت به T_3 کاهش نشان داده است. در این پژوهش غلظت فسفر در تیمار T_2 (حل کننده فسفات) افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان نداد، مطالعات نشان داده اند که ارزیابی باکتری‌های حل کننده فسفات در شرایط آزمایشگاهی الزاما نمی‌تواند متناظر با کارایی PGPR برای افزایش جذب فسفر در شرایط خاکی باشد که احتمالا به دلیل عدم پایداری فسفر انحلال یافته در محیط می‌باشد (رنگل 2008). تولید اسیدهای آلی در شرایط آزمایشگاهی مکانیسم اصلی انحلال فسفات می‌باشد با این حال در بعضی موارد تولید اسیدهای آلی دیده نشده است، محققین مکانیسم‌هایی غیر از تولید اسیدهای آلی برای انحلال فسفات ارائه داده‌اند که از آن جمله می‌توان به فرآیندهای کلاته شدن و کاهشی (آلتومار و همکاران 1999)، تولید اگزوپلی‌ساکارید (یی و همکاران 2008) اشاره داشت. در این پژوهش نیز افزایش فسفر در تیمار T_6 احتمالا مربوط به مکانیسم‌های فوق باشد.



شکل 1- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری در شوری بر A) وزن تر اندام هوایی، B) وزن خشک اندام هوایی گیاه کلزا.

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی دار هستند.

T1: تیمار شاهد، T2: حاوی باکتری مقاوم به شوری و حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، T3: حاوی باکتری مقاوم به شوری، حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی و مولد ACC-دآمیناز، T4: حاوی باکتری مقاوم به شوری، مولد ACC-دآمیناز و IAA، T5: حاوی باکتری مقاوم به شوری، حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، مولد ACC-دآمیناز و IAA، T6: حاوی باکتری مقاوم به شوری، T7: حاوی باکتری حساس به شوری،S0: شوری طبیعی، S1: شوری 3 دسی زیمنس بر متر، S2: شوری 6 دسی زیمنس بر متر، S3: شوری 9 دسی زیمنس بر متر.



شکل 2- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری در شوری بر غلظت A) نیتروژن، B) فسفر، C) سدیم در اندام هوایی کلزا.

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی دار هستند.

T1: تیمار شاهد، T2: حاوی باکتری مقاوم به شوری و حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، T3: حاوی باکتری مقاوم به شوری، حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی و مولد ACC-دآمیناز، T4: حاوی باکتری مقاوم به شوری، مولد ACC-دآمیناز و IAA، T5: حاوی باکتری مقاوم به شوری، حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، مولد ACC-دآمیناز و IAA، T6: حاوی باکتری مقاوم به شوری، T7: حاوی باکتری حساس به شوری،S0: شوری طبیعی، S1: شوری 3 دسی زیمنس بر متر، S2: شوری 6 دسی زیمنس بر متر، S3: شوری 9 دسی زیمنس بر متر.

غلظت عناصر پتاسیم و سدیم

نتایج مقایسه میانگین با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد نشان داد که بیشترین مقدار سدیم و پتاسیم از سطح شوری S_3 بدست آمد که به ترتیب به میزان 689 و 23 درصد نسبت به شرایط بدون تنش (S0) افزایش نشان داد (شکلC-2 و شکلA-4). غلامی و راحمی (2010) نیز نشان دادند با افزایش شدت تنش میزان پتاسیم در اندام هوایی به صورت معنی داری افزایش می یابد، که دلیل این امر می تواند به علت نقش این کاتیون در تنظیم فشار اسمزی و کنترل روزنه ای باشد (آخوندی و همکاران 1385). افزایش در غلظت سدیم نیز می‌تواند به دلیل فراوانی یون‌های سدیمی در محیط ریشه و کاهش رشد گیاه در اثر سمیت یون سدیم در شوری‌های بالاتر (عکس اثر رقت) باشد. با اینکه غلظت پتاسیم تحت تنش افزایش یافت اما این افزایش در مقابل سدیم خیلی ناچیز است. غلظت سدیم در محیط‌های شور بیشتر از پتاسیم بوده و از طریق سیستم‌های انتقال با جذب پتاسیم رقابت می‌کند و از این طریق مانع از جذب پتاسیم شده و غلظت آن در گیاهان به حد سمیت می‌رسد و در نهایت نسبت K/Na کاهش یافته و اثر منفی بر رشد گیاهان دارد (زهیر و همکاران 2009). طبق نتایج تیمارهای حاوی باکتری مولد ACC-دآمیناز باعث افزایش معنی‌دار میانگین غلظت پتاسیم نسبت به تیمار شاهد شدند و بیشترین مقادیر پتاسیم از تیمارهای T_3 (تا 14/49 درصد) و T_5 (تا 14 درصد) بدست آمد. البته اختلاف این دو با تیمار T_4 (افزایش 13 درصدی) از نظر آماری معنی‌دار نشد (شکلA-4). ولی در مورد سدیم روند بر عکس بود، تیمارهای باکتری باعث کاهش معنی‌دار غلظت سدیم نسبت به شاهد شدند و کمترین غلظت آن در سطوح شوری S_2 و S_3 (به ترتیب کاهش معنی‌دار 29 و 19 درصدی نسبت به شاهد) از T_3 بدست آمد. همچنین در سطح شوری S_0 تیمارهای باکتری با تیمار شاهد در یک گروه آماری واقع شدند (شکلC-2). یوی و همکاران (2007) گزارش نمودند گیاهان مایه‌زنی شده با جدایه‌های مولد ACC – دآمیناز در مقایسه با شاهد مقدار بیشتری پتاسیم و غلظت سدیم پایینی داشتند. افزایش تجمع پتاسیم در تیمارهای باکتریایی می‌تواند به این دلیل باشد که احتمالا باکتری-های محرک رشد گیاه (باکتری‌های مولد ACC-دآمیناز) از طریق تغییر در انتخاب پذیری سدیم و پتاسیم برای جذب توسط گیاه و در نتیجه با محدود کردن جذب سدیم، جذب پتاسیم را افزایش می‌دهند (هامدیا و همکاران 2004). همچنین تجمع ترجیحی پتاسیم در برگ‌ها در اثر تیمارهای باکتریایی میتواند به علت تغییرات در فعالیت غشا و در نتیجه ترشح پروتون از ریشه‌ها باشد (کارلیداق و همکاران 2011). کاهش سدیم اندام هوایی در تیمارهای باکتری نیز می‌تواند به ممانعت از انتقال سدیم از ریشه ها به اندام هوایی و تولید اگزوپلی ساکاریدها نسبت داده شود. اشرف و همکاران (2004) بیان نمود افزایش جمعیت باکتری های مولد اگزوپلی ساکارید در منطقه ریشه، مقدار سدیم قابل دسترس را برای جذب گیاه کاهش می‌دهد و از این طریق به مقاومت گیاهان رشد یافته در محیط‌های شور کمک می‌کند. همچنین باکتری‌های مقاوم به شوری از طریق پیوند کردن سدیم با پلی‌ساکاریدهای سطحی، جذب آن را کاهش می‌دهند (سیدیکی و همکاران، 2011).

عناصر کم مصرف

غلظت آهن در اندام هوایی

در بررسی اثر متقابل باکتری در شوری، نتایج مقایسه میانگین نشان داد غلظت آهن در اندام هوایی (میلی گرم بر کیلوگرم) با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت. استفاده از تیمارهای باکتریایی باعث افزایش معنی‌دار غلظت آهن گردید و بیشترین مقدار آن در سطح شوری S_0 از تیمار T_4 (افزایش 177درصدی نسبت به شاهد) بدست آمد. ضمن اینکه تمام تیمارها در گروه‌های آماری جداگانه‌ای نسبت به

شاهد واقع شدند. با این حال، در سطوح شوری بالاتر واکنش تیمارهای باکتریایی متفاوت بوده و بالاترین مقادیر آهن در تیمار T_5 مشاهده شد (به ترتیب افزایش 135، 60 و 83 درصدی نسبت شاهد در سطوح شوری S_1، S_2 و S_3). ولی در سطوح شوری فوق تیمار T_7 با شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل 3A).

غلظت روی در اندام هوایی

نتایج نشان داد تحت تنش شوری غلظت روی در اندام هوایی (میلی گرم بر کیلوگرم) به طور معنی‌داری کاهش یافت. تیمارهای باکتریایی تاثیر معنی‌داری را در غلظت روی نسبت به تیمار شاهد (T_1) نشان دادند. بطوریکه بالاترین مقادیر آن در سطح شوری S_0 بدست آمد که مربوط به تیمارهای T_4 و T_2 بود (به ترتیب افزایش 47 و 44 درصدی نسبت به شاهد). همچنین در سطوح شوری بالاتر نیز به همین منوال مشاهده گردید. ضمن اینکه حتی در سطح شوری S_3 نیز تیمار T_4 افزایش معنی‌دار 20 درصدی را نسبت به تیمار شاهد نشان داد (شکل 3B).

غلظت مس در اندام هوایی

میانگین غلظت مس اندام هوایی (میلی گرم بر کیلوگرم) با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت. تاثیر تیمارهای باکتریایی بر غلظت مس معنی‌دار گردید و بیشترین افزایش در غلظت مس به ترتیب از سطوح شوری S_3 و S_0 بدست آمد که مربوط به تیمار T_5 بود (به ترتیب افزایش 25 و 22 درصدی نسبت به شاهد). با این حال، بالاترین مقادیر مس در سطح شوری S_1 از تیمار T_6 (افزایش 8 درصدی) بدست آمد. همچنین در سطح شوری S_2 تیمارهای باکتری اختلاف معنی‌داری را در غلظت مس در مقایسه با تیمار شاهد نشان ندادند (شکل 3C).

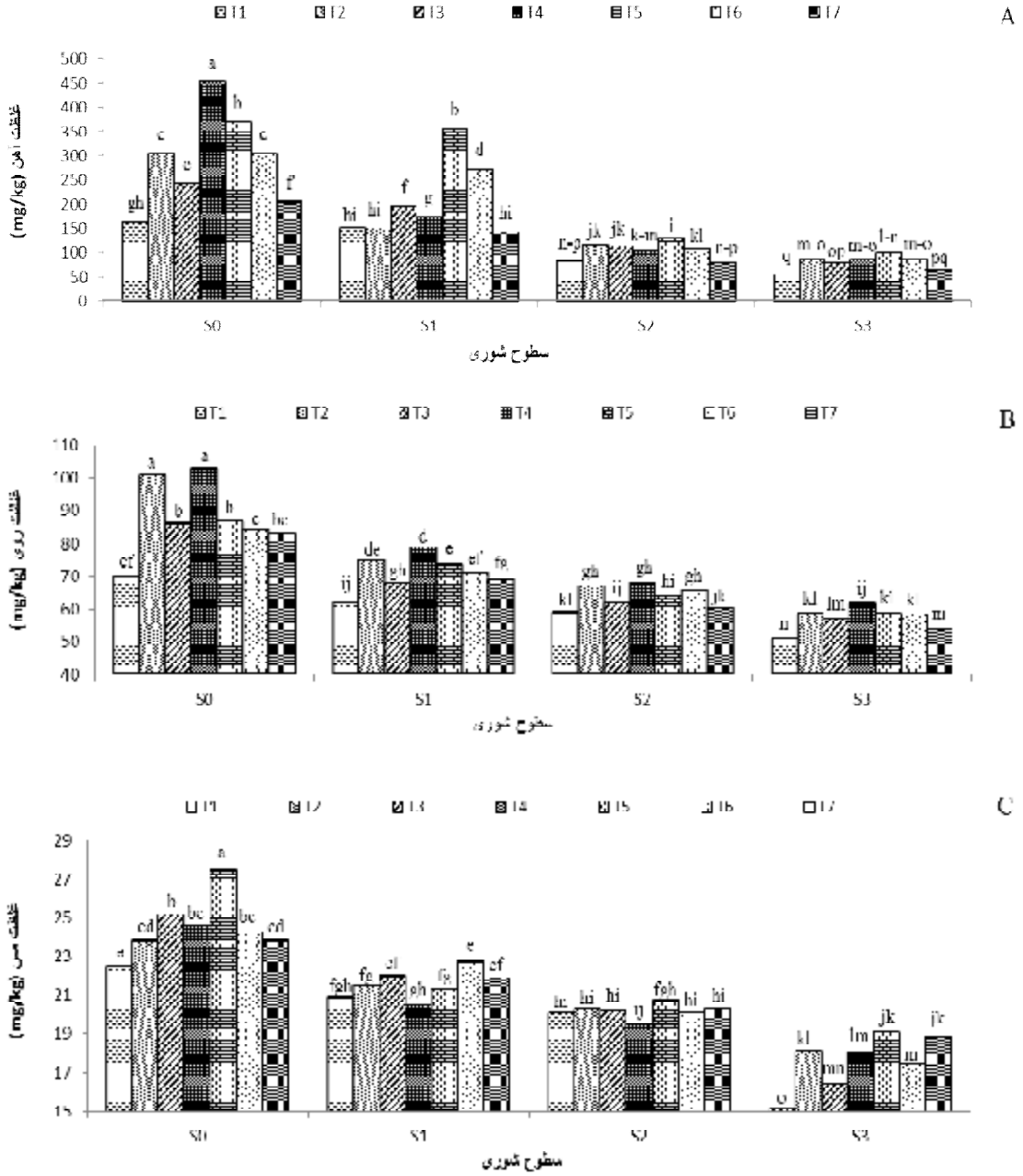
غلظت منگنز در اندام هوایی

میانگین غلظت منگنز اندام هوایی (میلی گرم بر کیلوگرم) با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری کاهش یافت. بیشترین و کمترین مقادیر منگنز به ترتیب از تیمارهای S_0 و S_3 حاصل شد. تیمارهای باکتریایی T_4، T_5، T_6، T_3، T_2 به ترتیب افزایش معنی‌دار 21/1، 16/65، 16/65، 11/5 و 7/37 درصدی را نسبت به تیمار شاهد (T_1) نشان دادند. تیمار T_7 نیز با شاهد اختلاف آماری نداشت (شکل4B).

تحت تنش شوری جذب عناصر غذایی به دلیل ناکارآمدی ریشه در بهره گیری از خاک و جذب عناصر به واسطه کاهش رشد ریشه در اثر تولید اتیلن تنشی (سیدیکی و همکاران 2011) و کاهش فعالیت انتقال دهنده‌های یونی توسط سدیم (یاو و همکاران 2010) کاهش می‌یابد. محققان زیادی گزارش کردند که با افزایش شوری خاک، غلظت عناصر پر مصرف و کم مصرف در اندام هوایی گیاهان کاهش می‌یابد (ال-کاراکی 2006، گیری و همکاران 2007). محققان مکانیسم‌های احتمالی باکتری‌های محرک رشد گیاه برای افزایش جذب عناصر غذایی را 1) تولید اسیدهای آلی توسط باکتری‌ها در ریزوسفر و در نتیجه کاهش pH (ارتورک و همکاران، 2011)، 2) افزایش فعالیت پمپ پروتون ATPase (یاو و همکاران 2010) و همچنین افزایش ترشحات ریشه‌ای از قبیل مواد احیایی و کلات کننده، 3) توسعه سیستم ریشه ای (شیر مردی و همکاران 2010) و 4) محدود کردن جذب کلر و سدیم (یلدریم و همکاران 2008) ذکر کرده‌اند.

در این پژوهش بیشترین غلظت آهن از تیمار T_5 بدست آمد در مقام بعدی T4 قرار گرفت. علت این افزایش نسبت به T_4 با تولید اسیدهای آلی و عوامل کلات کننده توسط باکتری تیمار T_5 قابل توجیه است. همچنین افزایش غلظت آهن در تیمار T_6 احتمالا به فرآیندهای کلاته شدن و کاهشی مربوط شود (آلتومار و همکاران 1999). کاهش غلظت آهن در تیمار T_3 در مقایسه با تیمارهای مذکور احتمالا به دلیل اثرات رقابتی بین فسفر و آهن باشد. بیشترین غلظت روی از تیمارهای T_4 و T_2 بدست آمد. در مورد T_4 میتوان بیان داشت که توسعه سیستم ریشه‌ای و طویل شدن آن

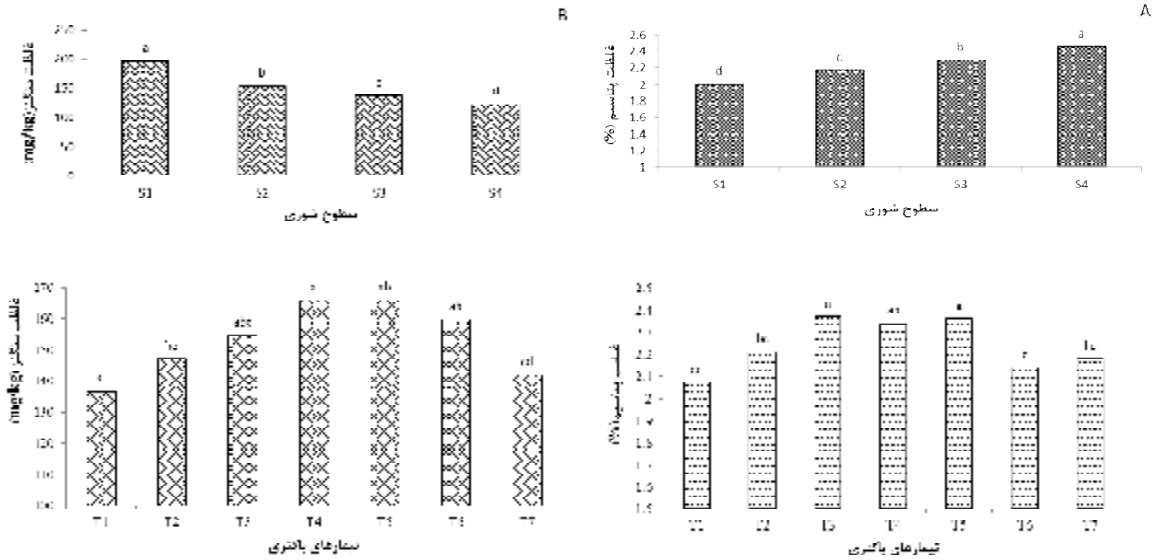
سبب تماس بیشتر ریشه با ذرات خاک شده و منجر به جذب بیشتر روی شده است که به فعالیت بیشتر ACC-دآمیناز در این تیمار مربوط می‌شود. همچنین افزایش غلظت روی در تیمار T_2 احتمالا به دلیل کمبود فسفر در این تیمار باشد. بیشترین غلظت منگنز و مس به ترتیب از تیمارهای T_4 و T_5 بدست آمد به نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با گسترش سیستم ریشه‌ای و افزایش ترشحات آن و در نتیجه تشدید فعالیت‌های ریزوسفری، سبب افزایش دسترسی منگنز و مس برای گیاه می‌شوند. همچنین محققین تولید اسیدهای آلی، فرآیندهای کلاته شدن را در انحلال مس، و تولید اسیدهای آلی، فرآیندهای کاهشی را در انحلال منگنز دخیل دانسته اند (آلتومار و همکاران 1999).



شکل 3- مقایسه میانگین اثر متقابل باکتری در شوری بر غلظت A) آهن B) روی C) مس در اندام هوایی کاناپه

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی دار هستند.

T1: تیمار شاهد، T2: حاوی باکتری مقاوم به شوری و حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، T3: حاوی باکتری مقاوم به شوری، حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی و مولد ACC-دآمیناز، T4: حاوی باکتری مقاوم به شوری، مولد ACC-دآمیناز و IAA، T5: حاوی باکتری مقاوم به شوری، حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، مولد ACC-دآمیناز و IAA، T6: حاوی باکتری مقاوم به شوری، T7: حاوی باکتری حساس به شوری،S0: شوری طبیعی، S1: شوری 3 دسی زیمنس بر متر، S2: شوری 6 دسی زیمنس بر متر، S3: شوری 9 دسی زیمنس بر متر.



شکل 4- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح شوری و تیمارهای باکتری بر غلظت A) پتاسیم و B) منگنز در اندام هوایی کلزا.

میانگین های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال پنج درصد فاقد تفاوت معنی دار هستند.

T1: تیمار شاهد، T2: حاوی باکتری مقاوم به شوری و حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، T3: حاوی باکتری مقاوم به شوری، حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی و مولد ACC-دآمیناز، T4: حاوی باکتری مقاوم به شوری، مولد ACC-دآمیناز و IAA، T5: حاوی باکتری مقاوم به شوری، حل کننده فسفات‌های نامحلول معدنی، مولد ACC-دآمیناز و IAA، T6: حاوی باکتری مقاوم به شوری، T7: حاوی باکتری حساس به شوری،S0: شوری طبیعی، S1: شوری 3 دسی زیمنس بر متر، S2: شوری 6 دسی زیمنس بر متر، S3: شوری 9 دسی زیمنس بر متر.

نتیجه‌گیری کلی

بروز شرایط تنشی به ویژه تنش شوری، موجب کاهش رشد و عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد. لذا ارائه هرگونه پیشنهاد قابل اجرا برای مقابله با این عوامل تنش زا امری ضروری می‌باشد. در این راستا استفاده از کودهای زیستی در بهینه سازی مصرف کود جهت نیل به کشاورزی پایدار حائز اهمیت بوده و ضمن افزایش عملکرد و تاکید بر کاهش اثرات منفی زیست محیطی، می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد. در این پژوهش مایه‌زنی با باکتری‌های ریزوبیومی بومی خاک‌های ایران باعث افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف در گیاه کلزا شد. طبق نتایج تیمارهای باکتری اثرات متفاوتی بسته به جدایه باکتری در جذب عناصر غذایی مختلف نشان دادند، به طوریکه در افزایش غلظت نیتروژن و روی T_4، فسفر T_3، آهن و مس T_5 بیشترین تاثیر را داشتند که این امر به مکانیسم عمل متفاوت باکتری‌ها در تحریک جذب عناصر مربوط می‌شود. نتایج موید این است که استفاده از پتانسیل باکتری‌های ریزوبیومی بومی محرک رشد به صورت کودهای زیستی در بهبود تغذیه گیاهان غیر اگرم تحت تنش شوری می‌تواند به عنوان

یک روش اقتصادی مدنظر باشد و امید است با ادامه پژوهش‌ها در این زمینه ضمن ارائه زادمایه مناسب برای مقابله با عوامل تنش زا، گام مثبتی در افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی به ویژه در شرایط تنش برداشته شود.

منابع مورد استفاده

ابطحی ع، 1380. واکنش نهال دو رقم پسته نسبت به مقدار و نوع شوری خاک در شرایط گلخانه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد پنجم، شماره 1: 100- 93.

امامی ع، 1375. روش‌های تجزیه گیاه (جلد اول). نشریه شماره 982، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.

آخوندی م، صفرنژاد ع و لاهوتی م، 1385. اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین و تغییرات عناصر در یونجه های یزدی، نیک شهری و رنجر (*Medicago Satvia* L.) . علوم و فنون کشاورزی، سال دهم، شماره 1: 174-165.

جوینی م الف، چایی چی م ر، کشاورز ر و احتشامی م ر، 1390. بررسی تاثیر روش‌های مختلف کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر عملکرد سورگوم علوفه‌ای رقم اسپیدفید. مجله‌ی علوم گیاهان زراعی ایران، شماره 2: 337-329.

حاج غنی م، صفاری م و مقصودی ع ا، 1387. اثر سطوح مختلف کلرید سدیم بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ی ارقام گلرنک (*Carthamus tinctorius* L.). مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره 45: 458- 449.

حسینی ی، همایی م، کریمیان ن و سعادت س، 1387. مدل‌سازی واکنش کلزا به تنش‌های توامان شوری و کمبود نیتروژن. علوم وفنون کشاورزی و منابغ طبیعی، 46(ب): 734-721.

حیدری م، نادیان ح، بخشنده ع، عالمی خ و فتحی ق، 1386. بررسی اثرات سطوح مختلف شوری و نیتروژن بر تنظیم کننده‌های اسمزی و جذب عناصر غذایی در گندم. مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره 40 (الف): 210-193.

خادمی ز، رضایی ح، ملکوتی م ج و مهاجر میلانی پ، 1379. تغذیه بهینه کلزا. نشر آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.

خسروی ه، علیخانی ح و یخچالی ب، 1387. تاثیر باکتری‌های ریزوبیومی مولد ACC-دآمیناز (PGPR) بر رشد گندم در شرایط شوری و خشکی. پان نامه دکتری در رشته خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

علی احیایی م و بهبهانی زاده ع ا، 1372. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک (جلد اول). نشریه 893، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.

Al-Karaki GN, 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. Scientia Horticulturae 109:1-7.

Altomare C, Norvell WA, Bjorkman T and Harman GE, 1999. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant growth promoting and biocontrol fungus Trichoderma harzianum rifai 1295–22. Appl Environ Microbiol 65: 2926–2933.

Ardakani MR, Mazaheri D, Shirani Rad AH and Mafakheri S, 2011. Uptake of micronutrients by wheat (*Triticum aestivum* L.) in a sustainable agroecosystem. Middle-East Journal of Scientific Research 7 (4): 444-451.

Ashraf, M., S. Hasnain, O. Berge, and T. Mahmood. 2004. Inoculation wheat seedlings with exopolysaccharides-producing bacteria restricts sodium uptake and stimulates plant growth under salt stress. Biology and Fertility of Soils 40: 157–162.

Baset Mia MA, Shamsuddin ZH and Maziah M, 2010. Use of plant growth promoting bacteria in banana: A newInsight for sustainable banana production. International Journal of Agriculture & Biology 12(3):459-467.

Biari A, Gholami A and Rahmani HA, 2008. Growth promoting and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. Journal of Biological Sciences 8 (6): 1015-1020.

Cakmakci R, Erat M, Erdog U and Donmez MF, 2007. The influence of plant growth–promoting rhizobacteria on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. Journal Plant Nutrition Soil Sciences 170: 288–295.

Cheng Z, Park E and Glick BR, 2007. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) deaminase from *Pseudomonas putida* UW4 facilitates the growth of canola in the presence of salt. Canadian Journal of Microbiology 53(7):912-918.

Erturk Y, Cakmakci R, Duyar O & Turan M, 2011. The effects of plant growth promoting rhizibacteria on vegetative growth & leaf nutrient contents of hazelnut seedling (Thurkish hazelnut cv.Tombul & Sivri). International Journal of Soil Science 6(3):188-198.

Fuentes-Ramirez LE and Caballero-Mellado J, 2005. Bacterial biofertilizers. Pp: 143–172. In: Z.A. Siddiqui (ed). PGPR: Biocontrol and Biofertilization. Springer, Netherlands.

Gholami M and Rahemi M, 2010. Effect of water stress and recovery on water status and osmotic adjustments of miniature rose meshkinjan. Research Journal of Invironmental Sciences 4(3): 288-293.

Giri B, Kapoor R and Mukerji KG, 2007. Improved tolerance of acacia nilotica to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. Microbial Ecology 54:753-760.

Hamdia MA, Shaddad MAK and Doaa MM, 2004. Mechanisms of salt tolerance and interactive effects of *Azospirillum brasilense* inoculation on maize cultivars grown under salt stress conditions. Plant Growth Regulators 44: 165–174.

Husssain MB, Mehboob I, Zahir ZA, Naveed M and Asghar HN, 2009. Potential of *Rhizobium spp*. for improving growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Soil & Environ 28(1): 49-55.

Jeon JS, Lee SS, Kim HY, Ahn TS and Song HG, 2003. Plant growth promoting in soil by some inoculated microorganism. Journal of Microbiology Pp: 271-276.

Kafi M & Damghani AM, 2000. The mechanisms of plant resistance to salt stress. Mashhad Ferdosi University Press, Mashhad, Iran (In Persian).

Karlidag H, Esitken A, Yildirim E, Figen-Donmez M and Turan M, 2011. Effects of plant growth promoting bacteria on yield, growth, leaf water content, membrane permeability and ionic composition of strawbwrry under saline conditions. Journal of Plant Nutrition 34:34–45.

Matiru VN and Dakora FD, 2004. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. African Journal of Biotechnology 3 (1):1-7.

Mayak S, Tirosh T and Glick BR, 2004. Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. Plant Physiology and Biochemistry 42:565-572.

Mehboob I, Naveed M and Zahir AZ, 2009. Rhizobial association with non-legumes: mechanisms and applications. Critical Reviews in Plant Science 28:432–456.

Mirmahammadi-Meybodi S and Ghareyazi B, 2002. Physiological aspects of salt stress in plants. Isfahan University Press, Isfahan, Iran (In Persian).

Nadeem SM, Hussain I, Naveed M, Ashgar HN, Zahir ZA and Arshad M, 2006a. Performance of plant growth promoting rhizobacteria containing ACC-deaminase activity for improving growth of maize under salt-stressed conditions. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 43:114-121.

Nadeem SM, Zahir ZA, Naveed M, Arshad M and Shahzad SM, 2006b. Variation in growth and ion uptake of maize due to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria under salt stress. Plant, Soil and Environment 25:78-84.

Patten CL and Glick BR, 2002. Role of *Pseudomonas putida* indole acetic acid in development of host plant root system. Application Environment Microbiology Pp: 3795-3801.

Penrose DM and Glick BR, 2001. Levels of ACC and related compounds in exudates and extracts of canola seeds treated with ACC deaminase-containing plant growth promoting bacteria. Canadian Journal of Microbiology 47: 368–372.

Penrose M and Glick BR, 2003. Methods for isolating and characterizing ACC deaminase-containing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. Plant Physiology, 118:10-15.

Rengel Z, 2008. Bioavailability of phosphorus and micronutrients in the soil-plant-microbe continuum. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 8: 84–91.

Shaharoona B, Jamro GM, Zahir ZA, Arshad M and Memon KS, 2007 . Effectiveness of various *Pseudomonas spp*. and *Burkhaldaria caryophylli* containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Microbiology and Biotechnology 17: 1300–1307.

Shakhawat and Martensson, 2007. Potential use of *Rhizobium spp*. to improve growth of non-nitrogen fixing plants. Master's Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences,Department of Soil Sciences P.O. Box 7014.

Shirmardi M, Savaghebi GR, Khavazi K, Akbarzadeh A, Farahbakhsh M, Rejali F and Sadat A, 2010. Effect of microbial inoculants on uptake of nutrient elements in two cultivars of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in saline soils. Nutrition Science and Biology 2 (3): 57-66.

Siddikee A, Glick BR, Chauhan S, Yim W and Sa T, 2011. Enhancement of growth and salt tolerance of red pepper seedlings (*Capsicum annuum* L.) by regulating stress ethylene synthesis with halotolerant bacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase activity. Plant Physiology and Biochemistry 49: 427- 434.

Yao L, Wu Z, Zheng Y, Kaleem I and Li C, 2010. Growth promotion and protection against salt stress by *Pseudomonas putida* Rs-198 on cotton. European Journal of Soil Biology 46: 49-54.

Yi Y, Huang W and Ge Y, 2008. Exopolysaccharide: a novel important factor in the microbial dissolution of tricalcium phosphate. World Journal of Microbiology and Biotechnology 24: 1059–1065.

Yildirim E, Figen Donmez M and Turan M, 2008. Mitigation of salt stress in radish (*Raphanus sativus* L.) by plant growth promoting rhizobacteria. Roumanian Biotechnological Letters 13(5) : 3933-3943.

Yue H, Mo W, Li C, Zheng Y and Li H, 2007. The salt stress relief and growth promotion effect of RS-5 on cotton. Plant Science 297:139–145.

Zahir ZA, Ghani U, Naveed M, Nadeem SM and Asghar HN, 2009. Comparative effectiveness of *Pseudomonas* and *Serratia sp*. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions. Arch Microbiol, 191:415–424.

Zou YN and Wu QS, 2011. Efficiencies of five arbuscular mycorrhizal fungi in alleviating salt stress of trifoliate orange. Indian Journal of Agriculture and Biology 13: 991–995.